

Software de Análisis y Diseño de Antenas Planas de Ranuras para Recepción de Televisión vía Satélite

Manuel Sierra C., Manuel Sierra P., María Vera*, J. García Sánchez*, Manuel Amador*
GRUPO DE RADIACIÓN. DPTO. DE SEÑALES, SISTEMAS Y RADIOCOMUNICACIONES
ETSI de Telecomunicación de Madrid, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
CIUDAD UNIVERSITARIA s/n. 28040 MADRID
*DPTO. DE TECNOLOGÍAS DE LAS COMUNICACIONES. UNIVERSIDAD DE VIGO.
Correo electrónico: manol@gr.ssr.upm.es

Abstract:

We present the software 'APLANAR'. That is a tool for analysing and designing radial line slot antennas. The design of this kind of antennas is based on the circuit approach formulas obtained by this group, after some measurements and simulations of the coaxial probes, slots and their mutual coupling. The analysis part of the software gets different antenna patterns, gain and impedance characteristics. It also obtains the field intensity on each slot.

Introducción

En este artículo vamos a presentar el paquete de análisis y diseño de antenas de ranuras en guía radial 'APLANAR'. Aunque puede utilizarse para cualquier tipo de aplicación, está siendo empleado para el diseño de antenas para recepción individual de televisión vía satélite, por lo que los ejemplos que vamos a presentar serán para esta aplicación.

Hemos dividido la presentación en 3 bloques principales: Diseño de la antena, Análisis de la antena y Ejemplo de utilización.

La versión del paquete de programación disponible en estos momentos (v. 1.0) permite el diseño de antenas broadside de polarización circular, con terminación de la guía radial en cortocircuito o en un material absorbente.

En esta exposición no presentamos el fundamento electromagnético del problema, que está basado en la propagación del modo TEM en la guía. Un estudio detallado se puede encontrar en [1] y en [2].

2. Diseño de la antena

El proceso de diseño de la antena se basa en el estudio detallado de cada una de los componentes de la antena, y la elaboración de distintos modelos matemáticos para cada componente:

La sonda coaxial se modela mediante el circuito equivalente de la Fig. 1. El modelo tiene en cuenta las características de la sonda, diámetro, longitud e impedancia característica y la altura de la guía.

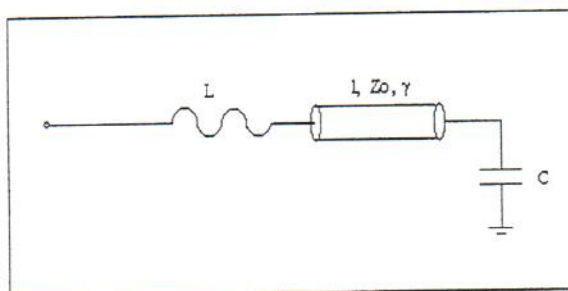


Fig. 1 : Modelo de sonda coaxial

Cada ranura se modela según el esquema de la Fig. 2, es decir mediante un circuito que contiene el acoplo entre ranuras en la guía y en el campo, y el acoplo de la onda a cada ranura, según su anchura, longitud, constante dieléctrica, altura de la placa superior y altura de la guía.

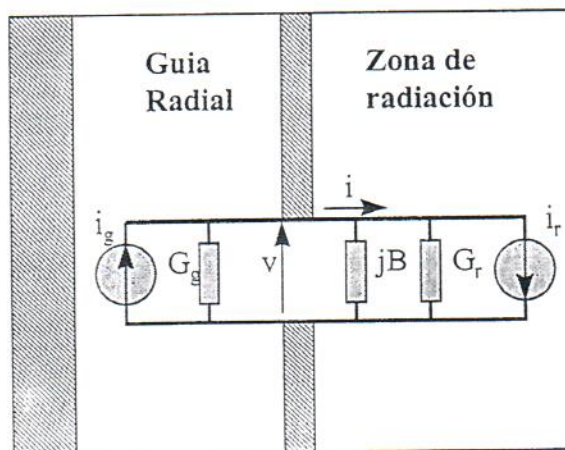


Fig. 2 : Esquema circuital de la ranura en la guía.

Por último el cortocircuito se modela mediante una serie de sondas cortocircuitadas. Todo el conjunto se puede modelar como un multipolo de $l+m+n$ puertos, donde 'l' son el número de sondas (en esta versión del programa $l = 1$), 'm' el número de sondas que simulan el cortocircuito y 'n' el número de ranuras. La relación entre tensiones e intensidades de corriente se calcula mediante el acoplo de energía en los distintos elementos a través de la guía y del campo de radiación. En la Fig. 3 se encuentra un esquema de la antena.

de la guía y del campo de radiación. En la Fig. 3 se encuentra un esquema de la antena.

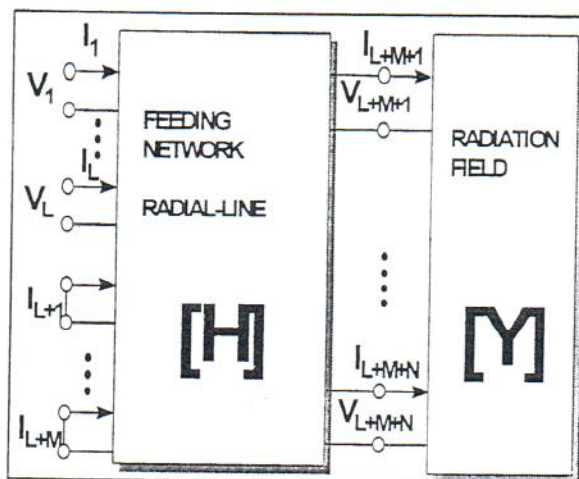


Fig. 3 : Multipolo equivalente de la antena

A la hora de proceder al diseño de la antena se solicita al usuario una serie de datos (entre paréntesis marcamos los límites y las unidades :

- Separación entre placas (7mm - 8 mm).
- Espesor de la placa superior (0.01 mm - 1.5 mm).
- Permitividad relativa de la guía (1 - 2.2).
- Distancia media entre pares de ranuras ($>0.4 \lambda$).
- Distancia radial de la 1ª ranura ($> 0.4 \lambda$).
- Anchura de las ranuras (0.5 mm - 1.5 mm).
- Radio de la sonda coaxial (0.01 mm - 1 mm).
- Impedancia de la sonda coaxial (ohm).
- Diámetro de la antena (mm)
- Frecuencia de diseño (GHz)

La frecuencia debe cumplir las condiciones de propagación del modo TEM :

$$\lambda_g \leq 2h \quad (1)$$

Estos datos aparecen en una ventana, donde se permite seleccionar los distintos valores.

El segundo grupo de variables de diseño es el tipo de polarización (en esta versión se permite circular a izquierdas o circular a derechas), la terminación de la guía radial (cortocircuito o material absorbente que hace de carga adaptada) o el método de diseño (longitud variable o ángulo variable). La opción de terminar la guía en cortocircuito o material absorbente se escogió por el menor precio que conlleva la eliminación de todo material distinto a las placas metálicas. En cuanto a los procedimientos de diseño se permite el diseño de ángulo variable, es decir conseguir un acoplo mayor o menor de energía de la guía radial a la ranura según la inclinación de ésta con respecto al frente de onda ; en este caso la longitud de las ranuras es la de resonancia. Los resultados obtenidos son peores que con el caso de longitud variable, donde se va

variando la longitud de la ranura (inferior o igual a la de resonancia) consiguiendo el acoplo de energía deseado mediante esa variable.

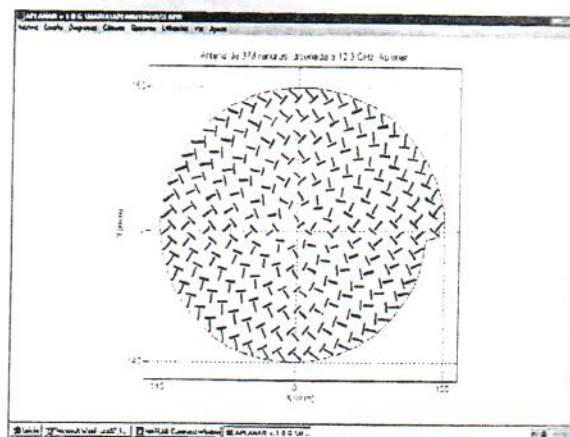


Fig. 4 : Resultado del diseño de la antena

Una vez seleccionadas todas las variables de diseño, se realiza éste mediante la selección de la opción "Realizar diseño". Las expresiones utilizadas para la realización de este diseño se pueden encontrar en [2].

Lo primero que hace la rutina de diseño de la antena es calcular la longitud óptima de la sonda de alimentación para conseguir que el coeficiente de reflexión sea el máximo posible. Para ello se basa en el modelo de sonda expuesto.

A continuación calcula la posición, longitud e inclinación de cada ranura, para conseguir que la excitación sea uniforme. La longitud es discretizada a una serie de valores fijos para poder ser implementadas en un taller mecánico con elementos prefabricados. Una vez realizado este primer cálculo tienen lugar dos correcciones de fase: primero se produce una corrección debido a la variación de fase que se produce en el campo que se acopla a la ranura por la resonancia de la onda incidente en cada ranura y posteriormente una segunda corrección debido al cambio de fase que se produce en la onda que continúa en la guía radial tras el acoplo de energía a cada ranura. Estas variaciones de fase se compensan acercando las ranuras al origen.

Hemos detectado otro efecto de variación de fase debido a las reflexiones que se producen en las ranuras tras acoplarse parte de la energía. Este efecto se intenta compensar, en parte, introduciendo pequeños errores aleatorios de posicionamiento en las ranuras, para conseguir que la contribución de cada ranura al campo reflejado se sume aleatoriamente. Las mejoras obtenidas son pequeñas y estamos estudiando distintas formas de alimentación multisonda que ofrecen resultados mejores en este aspecto. [3].

Por último procedemos al diseño del cortocircuito: este se sitúa a una distancia de $\lambda/4$ del centro de la última ranura en cada dirección radial, por lo que queda un cortocircuito en espiral, que en realizaciones prácticas convertimos en dos semicircunferencias.

Los resultados obtenidos se pueden imprimir o guardar en ficheros de formato texto, ASCII, o bien en el formato que utiliza el programa para analizarlos en otra sesión.

3. Análisis de la antena.

Una vez realizado el diseño de la antena se puede proceder al análisis de la misma.

El primer paso es la selección de las opciones de análisis (entrando en el menú de 'Opciones'. Se puede escoger la frecuencia o lista de frecuencia de análisis, los márgenes angulares para los diagramas de radiación, los márgenes angulares par el cálculo del ancho de haz a 3 dB o el nivel de lóbulos secundarios o la resolución para el cálculo de la directividad.

Una vez seleccionados todos estos valores se procede al análisis de la antena. Se puede calcular lo siguiente:

- *Excitación en amplitud y fase de las ranuras*: Calculamos la amplitud en dB y la fase en grados del campo de excitación de cada ranura. Se presentan los resultados en formato gráfico similar al presentado en la Fig. 4, variando el color de cada ranura según una escala de colores. Para el cálculo de esta excitación se utilizan las matrices de acoplo entre sondas de entrada y ranuras y el acoplo entre ranuras a través de la guía y del campo de radiación. En el caso de existir cortocircuito como terminación de la guía radial se considera también la influencia de éste.

- *Diagramas de radiación*: se obtienen cortes bidimensionales o diagramas en 3D. Se obtienen tanto las componentes levógira, dextrógira, theta o phi (sólo a la frecuencia central). El diagrama de radiación se calcula, a partir de las excitaciones anteriores, como suma de los campos radiados por cada ranura:

$$E_{\theta}(\theta, \phi) = \frac{e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \sum_{i=L-M+1}^{L-M+N} v_i \frac{j4L_i}{\lambda} F\left(k \frac{L}{2} u\right) \sin(\phi - \gamma_i) e^{jk_i(r_i)} \quad (2)$$

$$E_{\phi}(\theta, \phi) = \frac{e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \sum_{i=L-M+1}^{L-M+N} v_i \frac{j4L_i}{\lambda} F\left(k \frac{L}{2} u\right) \cos(\theta) \cos(\phi - \gamma_i) e^{jk_i(r_i)} \quad (3)$$

- *Ganancia, directividad y eficiencia*: Para el cálculo de la eficiencia calculamos la relación entre la potencia radiada y la potencia disponible del generador, donde la potencia radiada se calcula a partir de las excitaciones calculadas en cada ranura. Una vez calculados estos datos, la ganancia y la directividad cumplen las siguientes expresiones:

$$G = \frac{4\pi r^2 \frac{1}{2\eta} [E_{\theta}^2 + E_{\phi}^2]}{P_{in}} \quad D = \frac{4\pi r^2 \frac{1}{2\eta} [E_{\theta}^2 + E_{\phi}^2]}{P_{rad}} \quad (4)$$

- *Ancho de haz y nivel de lóbulos secundarios*: El ancho de haz y el nivel de lóbulos secundarios se calcula a partir del diagrama de radiación.

- *Relación polar-contrapolar*: La relación polar contrapolar también la calculamos a partir del diagrama de radiación de la antena.

- *Coefficiente de reflexión en módulo y fase*: Obtenemos la impedancia de entrada a partir del acoplo de energía entre la sonda y la guía radial y con ella calculamos el coeficiente de reflexión como:

$$\rho = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (5)$$

En la Fig. 5 presentamos la componente copolar del campo de radiación y en la Fig. 6 presentamos la Ganancia en función de la frecuencia.

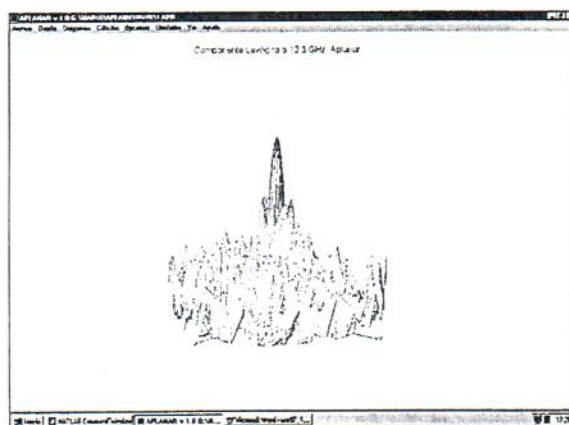


Fig. 5: Componente levógira del diagrama de radiación

En el menú 'Utilidades', opción 'Modo Automático', se pueden predefinir los cálculos a realizar para cada diseño de antena, con lo que no hace falta estar pendiente de la ejecución del programa.

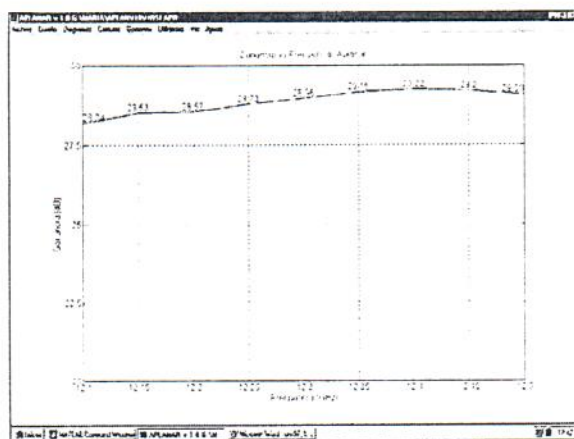


Fig. 6 : Ganancia en función de la frecuencia.

4. Otras opciones del programa.

El programa permite una serie de facilidades para el usuario como el cambio de colores de todas las partes del programa, ver un resumen del diseño y de los cálculos realizados, guardar en ficheros texto a ASCII, tanto el diseño como los cálculos, imprimir resultados a distintos tipos de impresoras, guardar en el portapapeles... También ofrece una serie de avisos cada vez que se realiza una operación incorrecta, o se introduce un valor fuera de los márgenes. Junto al programa los autores hemos preparado un manual de usuario que facilita su utilización.

5. Ejemplo de diseño

Este software ha sido utilizado para realizar el diseño de una antena plana de ranuras para recepción de TV vía satélite según el standard DBS. La polarización deseada es circular a izquierdas y la banda de funcionamiento de 12.1 GHz a 12.5 GHz (para el caso español). Impusimos una restricción de tamaño de la antena de 300 mm. La terminación de la guía radial es en cortocircuito y la alimentación es monosonda, con un radio de la sonda coaxial de 0.65 mm y una impedancia característica de 50 ohm (sonda SMA).

Después de realizar diversos diseños llegamos a un valor optimizado del mismo con los siguientes parámetros :

- Constante dieléctrica : 1.1 (foam o nido de abeja)
- Anchura de las ranuras : 1.5 mm
- Espesor de la placa superior : 0.1 mm
- Separación entre placas : 8 mm

También llegamos a una situación óptima en cuanto a la separación entre pares de ranuras y la distancia de la primera ranura al origen.

El diseño de la antena que se obtuvo es el de la Fig. 4. En la Fig. 5 se tiene la componente copolar del campo y en la Fig. 6 la ganancia en función de la frecuencia. El coeficiente de reflexión era mejor de -17 dB en toda la banda, el nivel de lóbulos secundarios mejor de 13.5 dB en toda la banda, el ancho de haz a 3 dB del orden de 5°.

6. Líneas a seguir

En estos momentos estamos trabajando en la ampliación de este paquete software en las siguientes direcciones :

- Análisis de estructuras de antenas introducidas por el usuario.
- Diseño de antenas de polarización lineal, de dos polarizaciones ortogonales, de doble haz con otras formas de antenas.
- Estudio de otros tipos de excitación.

En futuras versiones tendremos estas ampliaciones del programa.

Referencias

- [1] Sierra P. M., Vera M., Pino A.G., Sierra C. M. "Analysis of Slot Antennas on a Radial Transmission Line". *International Journal of Microwave and Millimeter Wave Computer Aided Engineering*. Vol. 6, No. 2. Pp. 1115-127. Ed. John Wiley & Sons, Inc. (1996)
- [2] Sierra P. M., Redoli J., Vera M., Pino. A.G. "Design and Analysis of slot array antennas on a radial feed line". *Proc. IEEE AP-S*. Vol.1, pp.362-365. June (1995).
- [3] Sierra P. M., Salamanca J.M., Sierra C. M., Vera M., Iglesias F.J. "Diseño de Antenas de Ranuras en Guía Radial con Alimentación Multisonda" *Actas Congreso U.R.S.I.* (1997).
- [4] Vera M. "Diseño de Antenas de Ranuras sobre Guía Radial". *Tesis Doctoral. Universidad de Vigo* (1996).
- [5] Ando M., Sakurai K., Arimura K., Ito Y. "A Radial Line Slot Antenna for 12 GHz Satellite TV Reception". *IEEE Trans. Antennas and Prop.* Vol. AP-33, pp. 1347-1353 (1985)
- [6] Sasazawa H., Oshima Y., Sakurai K., Ando M., Goto N., "Slot Coupling in a radial line slot antenna for 12 GHz Band Satellite TV Reception". *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*. Vol. 36, n.9, (1988)
- [7] Ando M., "New DBS receiver antennas". *Proceedings of the 23rd Microwave Conference* (1993)